

УДК 629.017

М. А. Подригало, Д. В. Абрамов, Р. О. Кайдалов

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПАРЦІАЛЬНИХ ПРИСКОРЕНЬ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТЯГОВО-ШВИДКІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ ТА БОЙОВИХ МАШИН**

Визначений взаємозв'язок між питомою потужністю автомобіля й сумою парціальних прискорень, які створюються різними силами при русі автомобілів та бойових машин. Запропоновано оцінювати коефіцієнт корисної дії автомобіля як відношення лінійного прискорення автомобіля до суми парціальних прискорень.

*Ключові слова:* питома потужність двигуна, парціальні прискорення, повна маса, споряджена маса, автомобілі та бойові машини.

**Постановка проблеми.** Питома потужність автомобілів та бойових машин (АБМ) є показником, який використовується для оцінювання енергонасиченості. У різних джерелах науково-технічної інформації надаються рекомендації з вибору на стадії проектування величини питомої потужності залежно від виду, класу й призначення автомобіля, але відсутнє їх наукове обґрунтування.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питома потужність АБМ [1, 2] є відношенням максимальної потужності двигуна  $N_{\max}$  до маси автомобіля  $m_a$

$$N_{\text{пит}} = \frac{N_{\max}}{m_a} . \tag{1}$$

Очевидно, що зміна маси АБМ в процесі експлуатації спричинює зміну  $N_{\text{пит}}$ . Тому вказаний показник є функцією ступеня завантаженості автомобіля. При розробленні уніфікованого ряду АБМ, основою якого є модульний принцип побудови, питома потужність буде мати різні значення для різних зразків, що входять до типорозмірного ряду. Тому, на наш погляд, визначаючи питому потужність у процесі проектування, необхідно використовувати повну масу АБМ, а при аналізі конкретного варіанта завантаження машини – відповідну цьому варіанту масу.

Метод парціальних прискорень запропонований у праці [3] для розв'язування прямої задачі механіки автомобіля. На відміну від принципу Германа – Даламбера – Ейлера [4], метод парціальних прискорень дозволяє визначати діючі на автомобіль сили з використанням простору прискорень без введення у розрахунок фіктивних сил інерції й інерційних моментів.

Викликає інтерес оцінювання динамічних (тягових і швидкісних) властивостей автомобілів за методом парціальних прискорень.

**Метою статті** є удосконалення методів оцінювання тягово-швидкісних властивостей АБМ шляхом застосування методу парціальних прискорень через визначення взаємозв'язку між питомою потужністю вказаних машин та їх парціальними прискореннями.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити два завдання:

- визначити взаємозв'язок між питомою потужністю і парціальними прискореннями АБМ;
- виразити показники динамічних (тягово-швидкісних) властивостей через парціальне прискорення АБМ.

**Виклад основного матеріалу.** Тягова потужність на ведучих колесах АБМ може бути визначена таким чином:

$$N_k = N_{\max} \cdot \eta_{\text{тр}} = \eta_{\text{тр}} V_a P_k = \eta_{\text{тр}} V_a \left( m_a g \psi + \frac{C_x}{2} \rho F V_a^2 + m_a \dot{V}_a \right), \tag{2}$$

де  $\eta_{\text{тр}}$  – ККД трансмісії АБМ;

- $V_a; \dot{V}_a$  – лінійна швидкість і прискорення АБМ;
- $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;
- $P_k$  – сумарна тягова сила на ведучих колесах АБМ;
- $\psi$  – сумарний коефіцієнт дорожнього опору;
- $C_x$  – коефіцієнт лобового аеродинамічного опору;
- $\rho$  – густина повітря;
- $F$  – площа лобового аеродинамічного опору (мідель) АБМ.

Після підстановки виразу (2) у співвідношення (1) і перетворень маємо

$$N_{\text{пит}} = \frac{V_a}{\eta_{\text{тр}}} \left( g \psi + \frac{C_x \rho F}{2 m_a} V_a^2 + \dot{V}_a \right). \tag{3}$$

З виразу (3) визначимо лінійне прискорення АБМ

$$\dot{V}_a = \frac{N_{\text{пит}} \eta_{\text{тр}}}{V_a} - \frac{C_x \rho F}{2m_a} V_a^2 - g\psi. \quad (4)$$

Права частина співвідношення (4) є сумою парціальних прискорень, тобто

$$\dot{V}_a = a_{\text{тяг}} - a_w - a_{\psi}, \quad (5)$$

де  $a_{\text{тяг}}$  – парціальне тягове прискорення, створене тяговою силою  $P_k$ ;

$a_w$  – парціальне прискорення (негативне), створене аеродинамічною силою;

$a_{\psi}$  – негативне парціальне прискорення від сумарної сили  $P_{\psi}$  дорожнього опору.

Вказані прискорення можуть бути визначені як

$$a_{\text{тяг}} = \frac{N_{\text{пит}} \eta_{\text{тр}}}{V_a}; \quad (6)$$

$$a_w = \frac{C_x \rho F}{2m_a} V_a^2; \quad (7)$$

$$a_{\psi} = g\psi. \quad (8)$$

Оскільки питома потужність є показником енергонасиченості АБМ, то виникає питання про те, яку масу машин брати для розрахунку – споряджену чи повну? У випадку спорядженої маси питома потужність АБМ буде максимальною

$$N_{\text{пит max}} = \frac{N_{e \text{ max}}}{m_{\text{асп}}}, \quad (9)$$

де  $m_{\text{асп}}$  – споряджена маса автомобіля.

Для повністю завантаженого автомобіля питома потужність буде мінімальною

$$N_{\text{пит min}} = \frac{N_{e \text{ max}}}{m_{\text{апов}}}, \quad (10)$$

де  $m_{\text{апов}}$  – повна маса АБМ.

Для АБМ з будь-яким ступенем завантаження питома потужність визначатиметься за виразом

$$N_{\text{пит}} = \frac{N_{e \text{ max}}}{m_{\text{асп}} + m_{\text{ван}}} = \frac{N_{e \text{ max}}}{m_{\text{асп}} \left( 1 + \frac{m_{\text{ван}}}{m_{\text{асп}}} \right)} = \frac{N_{\text{пит max}}}{1 + K_{\text{зав}}}, \quad (11)$$

де  $m_{\text{ван}}$  – маса вантажу;  $K_{\text{зав}}$  – коефіцієнт завантаженості АБМ.

$$K_{\text{зав}} = \frac{m_{\text{ван}}}{m_{\text{асп}}}. \quad (12)$$

За відомими технічними характеристиками вантажних автомобілів КрАЗ (рядки 1 – 5 таблиці), які знаходяться на озброєнні у підрозділах Національної гвардії України, та виразами (9 – 12) отримано характеристики (рядки 6 – 9 таблиці).

Т а б л и ц я

*Технічні характеристики автомобілів КрАЗ*

№ пор.	Найменування характеристики	КрАЗ-6322-02	КрАЗ-6322 “Raptor”	КрАЗ-5233-BE
1.	Колісна формула	6×6		4×4
2.	Повна маса автомобіля $m_{\text{апов}}$ , т	25,2	25,2	16,25
3.	Допустима маса вантажу, що перевозять (вантажопідйомність) $m_{\text{ван}}$ , т	12,3	4,2	5,8
4.	Маса спорядженого автомобіля $m_{\text{асп}}$ , т	12,9	21,0	10,45
5.	Максимальна потужність двигуна $N_{e \text{ max}}$ , кВт (к. с.)	243 (330)		
6.	Максимальна питома потужність $N_{\text{пит max}}$ , кВт/ т (к. с. /т)	18,84 (25,58)	11,57 (15,71)	23,25 (31,58)
7.	Мінімальна питома потужність $N_{\text{пит min}}$ , кВт/ т (к. с. /т)	9,64 (13,09)	9,64 (13,09)	14,96 (20,3)
8.	Питома потужність автомобіля $N_{\text{пит}}$ , кВт/ т (к. с. /т)	9,66 (13,11)	9,64 (13,09)	15,29 (20,77)
9.	Коефіцієнт завантаженості $K_{\text{зав}}$	0,95	0,2	0,55



Вираз (4) з урахуванням співвідношень (11) та (12) набиратиме вигляду

$$\dot{V}_a = \frac{N_{\text{пиг max}} \eta_{\text{тр}}}{V_a (1 + K_{\text{зав}})} - \frac{C_x \rho F}{2m_{\text{асп}} (1 + K_{\text{зав}})} V_a^2 - g\psi. \quad (13)$$

Результати розрахунку залежності  $\dot{V}_a$  від  $V_a$  за виразом (13) для різних значень  $\psi$  графічно подано на рисунку.

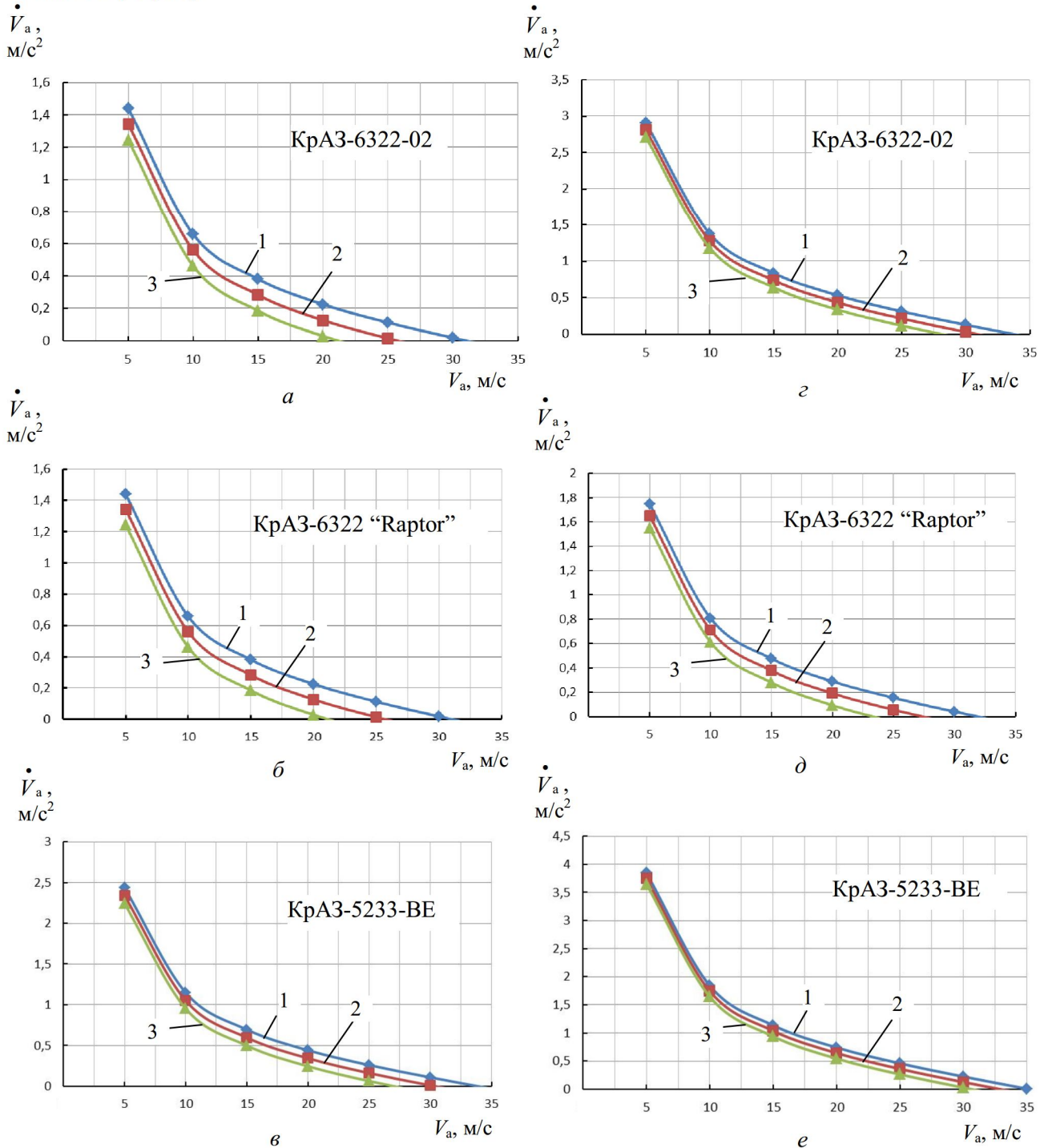


Рис. Залежність лінійного прискорення автомобілів від швидкості руху для різних значень сумарного коефіцієнта дорожнього опору: а, б, в – при повному завантаженні; г, д, е – при спорядженій масі

На рисунку цифрами позначені графіки: 1 – для  $\psi = 0,01$ ; 2 – для  $\psi = 0,02$ ; 3 – для  $\psi = 0,03$ .

Рухаючись по горизонтальній ділянці дороги з твердим покриттям, АБМ здатні розвивати максимальне лінійне прискорення. В цьому випадку можна вважати

$$\psi = f, \quad (14)$$

де  $f$  – коефіцієнт опору кочення коліс.

У випадку руху по бездоріжжю (пересіченій місцевості) необхідно забезпечити можливість подолання максимального дорожнього опору. При цьому немає необхідності створювати прискорення  $\dot{V}_a \left( \dot{V}_a = \text{const} \right)$ . Визначимо  $\psi = \psi_{\text{max}}$  при  $\dot{V}_a = 0$ , прирівнюючи до нуля праву частину виразу (13):

$$\psi_{\text{max}} = \frac{N_{\text{пит max}} \eta_{\text{тр}}}{V_a g (1 + K_{\text{зав}})} - \frac{C_x \rho F}{2m_{\text{асп}} (1 + K_{\text{зав}})} V_a^2. \quad (15)$$

Із рівняння (15) видно, що зі збільшенням лінійної швидкості руху АБМ відбувається зменшення  $\psi_{\text{max}}$ . За умови  $\psi_{\text{max}} \geq 0$  визначимо умову можливості руху АБМ

$$V_a \leq \sqrt[3]{\frac{2N_{\text{пит max}} m_{\text{асп}} \eta_{\text{тр}}}{C_x \rho F}}. \quad (16)$$

Максимальна швидкість АБМ, за якої можливе подолання заданого сумарного дорожнього опору  $\psi_{\text{max}} = \psi_{\text{зад}}$ , визначається шляхом розв'язання кубічного виразу, отриманого із формули (15):

$$V_a^3 \frac{C_x \rho F}{2m_{\text{асп}}} + V_a \psi_{\text{зад}} g (1 + K_{\text{зав}}) - N_{\text{пит max}} \eta_{\text{тр}} = 0. \quad (17)$$

Максимальне тягове парціальне прискорення АБМ із умови зчеплення ведучих коліс з дорогою (якщо всі колеса ведучі)

$$(a_{\text{тяг}})_{\text{max}} = \varphi_{x \text{ max}} g, \quad (18)$$

де  $\varphi_{x \text{ max}}$  – максимальне значення поздовжнього коефіцієнта зчеплення коліс з дорогою.

Таким чином,

$$(a_{\text{тяг}})_{\text{max}} = \left( \frac{N_{\text{пит max}} \eta_{\text{тр}}}{V_a} \right)_{\text{max}} = \varphi_{x \text{ max}} \cdot g \quad (19)$$

або, з урахуванням виразу (11),

$$(a_{\text{тяг}})_{\text{max}} = \left[ \frac{N_{\text{пит max}} \eta_{\text{тр}}}{V_a (1 + K_{\text{зав}})} \right]_{\text{max}} = \varphi_{x \text{ max}} g. \quad (20)$$

Для забезпечення прохідності АБМ необхідно виконати умову

$$(a_{\text{тяг}})_{\text{max}} \leq \varphi_{x \text{ max}} g. \quad (21)$$

Мінімально допустиму швидкість  $V_{a \text{ min}}$  руху АБМ визначимо із нерівності

$$\frac{N_{\text{пит max}} \eta_{\text{тр}}}{V_{a \text{ min}} (1 + K_{\text{зав}})} \leq \varphi_{x \text{ max}} g, \quad (22)$$

тобто

$$V_{a \text{ min}} \geq \frac{N_{\text{пит max}} \eta_{\text{тр}}}{\varphi_{x \text{ max}} g (1 + K_{\text{зав}})}. \quad (23)$$

Аналіз залежності (23) показує, що зі збільшенням  $\varphi_{x \text{ max}}$  і  $K_{\text{зав}}$  зменшується і мінімально допустима за умовою зчеплення ведучих коліс з дорогою лінійна швидкість АБМ.

Питанню оцінювання коефіцієнта корисної дії АБМ у останні роки присвячена значна кількість наукових досліджень [5–13]. Предметом обговорень різних авторів є визначення поняття “корисна робота автомобіля”. Поняття “витрачена енергія” у авторів праць [5–13] не викликає сумнівів – це енергія пального, що витрачена.

На нашу думку [2], поняття корисної роботи АБМ є умовним, що залежить від цілей, які поставлені перед розробниками машин.

Якщо розглядати ККД АБМ, то корисною слід вважати роботу, що витрачається на розгін машини [2]. Втрати енергії двигуна у трансмісії на подолання сил сумарного дорожнього і аеродинамічного опору є невірними або “шкідливими” втратами.

У цьому випадку миттєвий ККД АБМ можна визначити як



$$\eta_{\text{амит}} = \eta_e \eta_{\text{тр}} \frac{\dot{V}_a}{a_{\text{тяг}}} = \eta_e \eta_{\text{тр}} \frac{\dot{V}_a}{\dot{V}_a + a_w + a_{\psi}} = \frac{\eta_e \eta_{\text{тр}}}{1 + \frac{a_w + a_{\psi}}{\dot{V}_a}}, \quad (24)$$

де  $\eta_e$  – ефективний ККД двигуна.

### Висновки

1. Використання методу парціальних прискорень дозволило визначити взаємозв'язок між питомою потужністю автомобіля і його парціальним прискоренням.
2. Отримані аналітичні вирази дозволяють оцінити тягово-швидкісні і потужнісні показники з використанням питомої потужності АБМ.

### Список використаних джерел

1. Файст, В. Л. Удосконалення вимог до динамічних властивостей легкових автомобілів [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Файст Валерій Львович ; Харк. нац. техн. ун-т сільського госп-ва ім. Петра Василенка. – Х., 2012. – 20 с.
2. Динамічні властивості і стабільність функціонування автотранспортних засобів [Текст] / Д. В. Абрамов, Н. М. Подригало, М. А. Подригало та ін. – Х. : ХНАДУ, 2014. – 204 с.
3. Метод парциальных ускорений и его приложение в динамике мобильных машин [Текст] / Н. П. Артёмов, А. Т. Лебедев, М. А. Подригало и др. – Х. : Міськдрук, 2012. – 220 с.
4. Тарг, С. М. Краткий курс теоретической механики [Текст] / С. М. Тарг. – М. : Наука, 1968. – 480 с.
5. Токарев, А. А. Ещё раз о КПД автомобиля [Текст] / А. А. Токарев // Автомобильная промышленность. – 1997. – № 9. – С. 18 – 21.
6. Кириченко, И. Г. Оценка коэффициента полезного действия колёсных машин на транспортных операциях [Текст] / И. Г. Кириченко, Н. М. Подригало // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. – Х. : ХГАДТУ, 1998. – № 1. – С. 26–28.
7. Евсеев, П. П. Энергетические показатели функционирования автомобиля на маршруте. Термины и “тернии” [Текст] / П. П. Евсеев // Автомобильная промышленность. – 1999. – № 2. – С. 15 – 17.
8. Евсеев, П. П. И ещё раз о КПД автомобиля [Текст] / П. П. Евсеев // Автомобильная промышленность. – 1999. – № 3. – С. 20 – 21.
9. Евсеев, П. П. Работа, производительность и КПД автомобиля с позиций физики, стандартизации и метрологии [Текст] / П. П. Евсеев // Автомобильная промышленность. – 2003. – № 4. – С. 7 – 10.
10. Евсеев, П. П. Эффективный КПД движителя автомобиля [Текст] / П. П. Евсеев // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 4. – С. 12 – 14.
11. Квалиметрия, стандартизация и унификация тормозного управления колёсной машины [Текст] / М. А. Подригало, В. П. Волков, Д. В. Абрамов и др. – Х. : ХНАДУ, 2007. – 446 с.
12. Евсеев, П. П. Некоторые вопросы энергетики автомобиля [Текст] / П. П. Евсеев. – К. : ЗАТ “ВУПОЛ”, 2006. – 236 с.
13. Говорущенко, Н. Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте [Текст] / Н. Я. Говорущенко. – М. : Транспорт, 1990. – 135 с.

Стаття надійшла до редакції 05.12.2016 р.

УДК 629.017

М. А. Подригало, Д. В. Абрамов, Р. О. Кайдалов

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПАРЦИАЛЬНЫХ УСКОРЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЯГОВО-СКОРОСТНЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЕЙ И БОЕВЫХ МАШИН

*Определена взаимосвязь между удельной мощностью автомобиля и суммой парциальных ускорений, которые создаются различными силами при движении автомобилей и боевых машин. Предложено оценивать коэффициент полезного действия автомобиля как отношение линейного ускорения автомобиля к сумме парциальных ускорений.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* удельная мощность двигателя, парциальные ускорения, полная масса, снаряженная масса, автомобили и боевые машины.

UDC 629.017

**М. А. Podrigalo, D. V. Abramov, R. O. Kaidalov**

**APPLICATION OF PARTIAL EVALUATION ACCELERATION FOR TRACTION AND SPEED PROPERTIES OF CAR AND MILITARY VEHICLES**

*The correlation between the specific capacity of the vehicle and the amount of the partial accelerations that are created by various forces when driving vehicles and combat vehicles. It is proposed to evaluate the efficiency coefficient of the vehicle as the ratio of the linear acceleration of the vehicle to the sum of the partial acceleration.*

*К е у w o r d s: power density of the engine, partial acceleration, gross weight, curb weight, vehicles and combat vehicles.*

**Подригало Михайло Абович** – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України.

**Абрамов Дмитро Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування та ремонту Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

**Кайдалов Руслан Олегович** – кандидат технічних наук, доцент, докторант Національної академії Національної гвардії України.